

2.3. НАЗЕМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВЕНЕРЫ, МАРСА, ЮПИТЕРА И САТУРНА

к.ф.-м.н. Ю. В. Александров

Планеты Солнечной системы издавна являются важным объектом изучения в астрономии и естествознании в целом, хотя задачи и методы планетных исследований и их место в системе научного знания в разные эпохи были различными. С начала XX века главным стало изучение физических и физико-химических свойств планет.

Начало планетных исследований в Харьковском университете связано с именем академика В. Г. Фесенкова. Будучи студентом, он выполнил визуальные наблюдения Юпитера, результаты которых были опубликованы в Записках Харьковского университета. После окончания университета в 1911 г. и зарубежной командировки (до 1915 г.), где В. Г. Фесенков занимался в основном изучением природы зодиакального свечения, он снова обратился к исследованию Юпитера, результатом чего стал его фундаментальный труд «О природе Юпитера», вышедший в свет в 1917 г. (рис. 2.3.1).

Рассмотрению этого труда представляется целесообразным предпослать предисловие к нему, отражающее состояние планетоведения в то время, когда начиналось изучение планет в обсерватории Харьковского университета:

«Наши сведения о природе небесных тел находятся еще в самом зачаточном состоянии. Не говоря уже про чуждые нам миры, о которых мы не знаем почти ничего, даже о нашей планетной системе мы имеем лишь немного прочно установленных данных, относительно которых голоса наблюдателей не расходятся между собою.

Планета Юпитер, благодаря своей величине и удобному положению на небе привлекающая внимание наблюдателей со времен Галилея и особенно Дж. Кассини, изучена лучше, чем какая-либо из других планет.

Несмотря на это, до сих пор не только не существует какой-либо гипотезы, объясняющей совокупность происходящих на нем процессов, но не достигнуто согласия наблюдателей относительно достоверности многих существенных пунктов. Вследствие этого является, по моему мнению, весьма желательным обозреть критически главнейший наблюдательный материал, установить, что может в нем считаться достоверным, и на полученном таким образом фундаменте построить рациональную гипотезу, связывающую воедино различные особенности этой планеты.

В предлагаемой работе я пытаюсь выполнить указанную задачу. Сначала я излагаю современное состояние наших сведений о размерах, вращении и разных физических свойствах Юпитера, присоединяя и свои исследования о распределении интенсивности в экваториальной зоне этой планеты и о свойствах ее атмосферы. Далее я набрасываю теорию экваториального ускорения Юпитера и даю гипотезу образования различных форм, наблюдаемых на его поверхности».

Исследуя вопрос о размерах Юпитера, В. Г. Фесенков не только приводит и сопоставляет между собой результаты измерений экваториального диаметра и величины сжатия этой планеты, но и обсуждает возможное влияние на эти результаты распределения яркости по ее диску и его изменения в ходе цикла солнечной активности. Столь же тщательно анализируются им и данные о широтной зависимости угловой скорости осевого вращения Юпитера, полученные различными наблюдателями по движению деталей, видимых на диске планеты. Сделан вывод, что достаточно надежными являются лишь периоды, найденные А. А. Белопольским (9^h50^m для широт от 0° до 5° и 9^h55^m для зоны от 10° до 45°). Затем следуют описания и анализ видимой поверхности Юпитера – его зон и полос, отдельных образований в них, в частности, описывается изменение положения и вида Большого Красного Пятна. Отмечается изменение вида Юпитера с фазой цикла солнечной активности. Далее проводится теоретический анализ возможностей изучения атмосферы Юпитера по сопоставлению визуальных и спектроскопических лучевых скоростей и по покрытиям атмосферой планеты ее спутников.

Самой важной и оригинальной частью работы являются результаты впервые осуществ-

вленных В. Г. Фесенковым измерений распределения яркости вдоль экваториальной зоны Юпитера. Они были проведены в октябре 1916 г. с помощью визуального фотометра с фотометрическим клином. На основе этих измерений была предпринята попытка определения показателя прозрачности в атмосфере Юпитера в предположении, что в атмосфере имеет место рэлеевское рассеяние.

Теория экваториального ускорения Юпитера, развитая В. Г. Фесенковым, учитывает дифференциальное изменение осевого вращения небесного тела в ходе его остывания. Здесь существенным является эволюционный подход к рассматриваемой проблеме.

Конечно, сегодня результаты этого труда В. Г. Фесенкова имеют чисто исторический интерес, но он сыграл важную методическую роль в последующем развитии планетных исследований. Подтверждением этого может служить следующее содержащееся в нем высказывание: *«Для выработки рациональной теории форм на Юпитере требуется, прежде всего, основательное знакомство с целым рядом естественно-научных дисциплин, как небесная механика, фотометрия, термодинамика, математическая метеорология, геология и др., что за редкими исключениями превышает силы отдельных лиц»*.

В 1919 г. началась многолетняя научная деятельность Н. П. Барабашова.

К этому времени он уже имел значительный опыт визуальных наблюдений планет, отраженный в ряде публикаций. В первое десятилетие Н. П. Барабашов занимался изучением самых разных астрономических объектов. Но уже тогда им был выполнен ряд важных работ по планетной тематике.

В 1919 и в 1923 годах Н. П. Барабашов выполнил поверхностную фотометрию диска Венеры несколько модифицированным методом В. Г. Фесенкова. Измерения проводились в полном видимом диапазоне и со стеклянными светофильтрами – красным (605 – 660 нм) и зеленым (475 – 530 нм). Было показано, что имеет место потемнение к краю, более сильное в красных лучах, нежели в зеленых, и что распределение яркости по диску планеты не может быть описано простыми законами отражения; это свидетельствовало о существенной роли рассеяния света в плотной атмосфере Венеры в формировании этого распределения.

В 1920, 1924 и 1926 годах Н. П. Барабашов выполнил визуальные наблюдения Марса с помощью построенного им 27-см рефлектора. Наблюдения проводились с использованием пяти светофильтров (красного, зеленого, желтого, синего и фиолетового). Выполнялись зарисовки планеты, после чего проводились относительные оценки видимого альбеда различных образований на диске планеты в различных фильтрах путем сравнения яркости этих образований с яркостью какой-либо одной детали, выбранной в качестве опорной. Была прослежена эволюция полярных шапок Марса (рис. 2.3.2), описано изменение вида некоторых других образований, в частности, Solis Lacus. По характеру видимости в различных фильтрах светлые образования, появлявшиеся на диске Марса, были классифицированы следующим образом: 1) как светлые области на поверхности планеты, окруженные или покрытые облаками; 2) твердые осадки типа инея или туманоподобные образования и 3) облачные образования в атмосфере. Особенно часто облака наблюдались на утреннем и вечернем краях диска Марса. Наблюдались и темные линейные образования, так называемые «каналы». Их особенностью было то, что их видимость очень сильно варьировалась от видимости во все ночи наблюдений в данное противостояние до полной невидимости их в другие противостояния.

К концу 1920-х годов научные интересы Н. П. Барабашова сосредотачиваются на изучении физических условий на Луне и планетах. Он убедился в том, что Луна и планеты как яркие объекты вполне доступны для исследования относительно скромными наблюдательными средствами небольшой университетской обсерватории, а, познакомившись с трудами К. Э. Циолковского, понял то, какую важную роль этим исследованиям предстоит сыграть в ходе будущего освоения космоса человеком. Был, таким образом, определен объект исследований. Был выбран их метод – поверхностная фотографическая фотометрия. Совершенствовалась ее методика. Была выбрана стратегия исследований – получение длительных рядов наблюдений в различных участках видимого спектра, позволявших изучать зависимости яркости видимых планетных поверхностей от условий наблюдения и сопоставлять их с лабораторными аналогами, а затем переходить к физическим свойствам поверхностей и атмосфер планет. В этих работах стали принимать участие ученики Н. П. Барабашова. Все это означало, что начала формироваться новая научная школа – харьковская школа планетоведения.

Первой работой, выполненной методом фотографической фотометрии, была работа по фотометрии диска Юпитера по фотографиям, полученным Г. А. Шайном на 125 см рефлекторе КрАО по просьбе Н. П. Барабашова. В 1932 г. начались фотографические наблюдения планет в АО ХГУ. В этом году была осуществлена фотометрия Венеры в трех фильтрах (синем, желтом и красном). Марс впервые фотографировался в 1933 г. с теми же тремя фильтрами. Большая программа наблюдений Марса была выполнена в 1939 г. Применялись только два фильтра – красный и синий, в период с июня по сентябрь было получено более 1000 изображений планеты. Фотометрия Юпитера проводилась в 1932 – 1935 и 1938 г.г. также в синих и красных лучах. С теми же фильтрами фотографировался Сатурн ежегодно с 1932 по 1938 год. Наблюдения проводились на 20 см рефракторе Цейсса и находящемся с ним на одной параллактической установке 27 см рефлекторе.

Выводы, которые делались в результате анализа этих наблюдений, были зачастую лишь качественными. Некоторые из них оказывались, как выяснилось впоследствии, неверными. Попытки количественной интерпретации основывались на простейших моделях. Для видимых поверхностей планет использовались лишь законы отражения Ламберта и Ломмеля-Зеелигера или их некоторые простые обобщения. Рассеяние в атмосферах описывалось законом Рэлея с учетом лишь рассеяния первого порядка или формул Э. Шенберга, учитывающих рассеяние Рэлея первых двух порядков. Тем не менее 1930-е годы были весьма важным этапом в развитии у нас планетных исследований. Это была, если можно так выразиться, «эпоха первоначального накопления капитала», точнее говоря, накопления опыта в изучении планет методом фотографической фотометрии. Анализировались источники ошибок при проведении наблюдений и их обработке. Разрабатывались методики, позволявшие их уменьшить и учитывать. Определялись наилучшие режимы фотографической обработки фотопластинок, опробовались различные способы их калибровки и стандартизации. Для учета погрешностей, вносимых оптикой телескопов и фотографическим процессом, Н. П. Барабашовым был в 1932 г. предложен метод искусственной планеты, для чего фотографировался ортотропно отражающий экран с угловыми размерами, соответствующими размерам исследуемой планеты. Были предприняты и первые попытки сопоставления результатов фотометрии планет, в частности Марса, с данными для естественных и искусственных поверхностей. В этих работах кроме Н. П. Барабашова принимали участие Б. Е. Семейкин, В. Д. Фурдыло, И. Ф. Тимошенко. Кроме наблюдательных работ были сделаны работы, посвященные анализу и обобщению накопленного наблюдательного материала. Это работы Н. П. Барабашова 1940 г. по Марсу, В. Д. Фурдыло 1939 г. по Сатурну, В. И. Езерского 1948 г. по Венере.

Из конкретных результатов, полученных в то время, упомянем следующие. Для Венеры было установлено наличие значительного фазового хода показателя цвета. Было обнаружено, что распределения яркости по дискам Венеры и планет-гигантов плохо представляются указанными выше простыми моделями. Для материков Марса эти распределения, особенно в длинноволновой части спектра, удовлетворяют закону Ламберта. Были получены для видимой области спектра оценки альбедо различных образований на марсианской поверхности – материковых и морских областей, полярных шапок и светлых деталей. Были также накоплены данные о сезонных вариациях альбедо и их зависимости от условий освещения поверхности Солнцем. Была сделана оценка атмосферного давления на Марсе $p_0 \approx 65$ мб. Эта оценка завышена на порядок в силу неучета рассеяния света атмосферными аэрозолями, но тем не менее она оказалась значительно ближе к действительности, нежели значения, даваемые в то время зарубежными исследователями (например, 300 мб).

Практически важным выводом из проделанной работы было то, что для успеха дальнейших исследований необходимо переходить к наблюдениям планет с помощью более крупных телескопов в астроклиматических условиях, лучших, нежели эти условия могут быть в центре большого города. Но осуществить такой переход удалось уже только после Великой Отечественной войны.

В послевоенное время наблюдения планет возобновились в 1949 г. после восстановления башни цейссовского телескопа. В этом году А. Т. Чекирда провел спектральные наблюдения Венеры с объективной призмой и надежно подтвердил наличие фазового хода показателя цвета этой планеты.

В 1951 – 1954 г.г. В. И. Езерский выполнил большую работу по фотографической фотометрии Венеры. Фотографирование планеты проводилось на рефракторе Цейсса в 1951, 1953, 1954 г.г. Использовалась специальная насадка для экранирования прямых

солнечных лучей и яркого фона неба вблизи Солнца. Выполнялось диафрагмирование поля зрения для устранения фона неба при фотографировании ряда изображений Венеры на одной и той же пластинке (от 15 до 20 изображений). Использовались четыре светофильтра – красный, желтый, зеленый и синий. Всего было отснято более 200 пластинок и получено несколько тысяч изображений Венеры. Окончательно для дальнейшей обработки было отобрано 12 пластинок в интервалах углов фазы $26,0 - 49,3^\circ$ и $77,6 - 138,7^\circ$. Измерения снимков проводились на микрофотометре МФ-2. Каждое изображение фотометрировалось в пяти направлениях – вдоль экватора интенсивности и вдоль четырех параллельных и симметричных относительно него направлений. Для всех измеренных точек на диске планеты были рассчитаны значения углов падения и отражения света и разности азимутов падающего и отраженного лучей. Кроме того, были аналогичным образом переобработаны фотографические наблюдения Венеры Н. П. Барабашова 1932 г. (4 пластинки). Сделано это было в связи с систематическими расхождениями между результатами обработки этих наблюдений на микрофотометрах Коха и Гартмана.

В результате анализа полученного наблюдательного материала было, прежде всего, обнаружено, что во всех случаях максимум яркости на кривых распределения яркости располагается вблизи точки с равными друг другу углами падения и отражения света. Это было объяснено В. И. Езерским наличием зеркального эффекта при отражении света от облачного слоя Венеры наряду с диффузным рассеянием света. Были также сопоставлены между собою ветви кривых распределения яркости со стороны лимба и со стороны терминатора. В силу принципа взаимности после учета в различиях углов падения и отражения соответствующих точек на диске планеты эти ветви должны были бы совпадать. Однако обнаружилось, что систематически терминаторная ветвь лежит выше ветви кривой со стороны лимба. Таким образом, подтвердился эффект, ранее обнаруженный Миннаертом. Ни Миннаерт, ни Езерский не дали какого-либо объяснения этому эффекту. Позже В. Н. Дудинов показал, что различие хода терминаторной и лимбовой ветвей объясняется влиянием турбулентного замытия изображения планеты земной атмосферой. Была сделана, затем, попытка определить индикатрису рассеяния света в облачном слое атмосферы Венеры с помощью приближенных формул В. В. Соболева. Была определена индикатриса в пределах углов рассеяния от 30 до 180° . Качественное сходство полученной индикатрисы с индикатрисой рассеяния капель воды привело В. И. Езерского к выводу о водной природе облачного слоя на Венере. К сожалению, этот вывод оказался ошибочным; он явился следствием малой информативности кривых распределения яркости при имевшемся наборе фазовых углов.

Исследования Венеры были продолжены в 1964 г. О. М. Стародубцевой. Фотографирование Венеры проводилось на 27 см рефлекторе АО ХГУ с двумя интерференционными фильтрами ($\lambda\lambda$ 440 и 527 нм) и стеклянными фильтрами УФС-3+СЗС-7, что дало $\lambda_{\max} = 370$ нм. За период январь – октябрь 1964 года было получено около 150 пластинок с примерно 1500 изображениями Венеры. Было обработано 70 лучших изображений, охватывавших интервал углов фазы от 71° до 122° . Фотометрирование этих изображений было выполнено на микрофотометре МФ-4 вдоль экватора интенсивности и вдоль ряда направлений, перпендикулярных экватору интенсивности, с окошком размером $1,3'' \times 1,3''$. Фотографическая спектрофотометрия Венеры проводилась на телескопе АЗТ-2 ГАО АН Украины со спектрографом АСП-21 и спектральным разрешением 1,5 ангстрема в области 350 – 500 нм. Щель ориентировалась вдоль экватора интенсивности и в двух перпендикулярных ему направлениях – вдоль терминатора и посередине освещенной части планеты. Всего было получено 74 спектрограммы Венеры, из них 54 – с привязкой к центру диска Солнца. Результаты обработки 17 спектрограмм представлены в виде относительных распределений яркости по диску Венеры и в виде десятичного логарифма отношений яркости поверхности Венеры к яркости центра солнечного диска.

При последующей обработке результатов наблюдений О. М. Стародубцевой был проведен анализ влияния на эти результаты замытия земной атмосферой. Рассчитывались свертки определенных по формулам В. В. Соболева распределений яркости по диску Венеры с гауссовой функцией и проводилось их сравнение с наблюдаемыми кривыми. Показано, что наименее искажаются части кривых распределения яркости со стороны терминатора. Были снова выявлены нарушения принципа взаимности между ветвями кривых распределения яркости со стороны лимба и терминатора и квазизеркальный эффект в этих распределениях, а также установлена связь этих эффектов с турбулентным замытием

изображений земной атмосферой. Исследовались свойства темных образований, видимых на диске Венеры в ультрафиолетовых и иногда в синих и зеленых лучах. Оценивался их контраст и его поведение, установлено увеличение этого контраста к терминатору. Качественно была проанализирована возможность появления темных образований в связи с изменением размера аэрозолей под влиянием изменения температуры или выброса частиц с поверхности планеты. Была изучена возможность определения оптических параметров атмосферы Венеры по данным ее поверхностной фотометрии в различных диапазонах углов фазы.

В дальнейшем внимание О. М. Стародубцевой было сосредоточено на изучении контрастов УФ-образований, видимых на диске Венеры. Фотографическая спектрофотометрия была проведена ею в 1969 и 1972 годах. В 1980 году были осуществлены измерения степени поляризации света, отраженного Венерой фотографическим методом в пяти длинах волн от 320 до 630 нм. В результате был подробно изучен спектральный ход этих контрастов. Анализ времени вариаций контрастов в интенсивности и в степени поляризации показал наличие их периодичности с периодом в 4,3 – 4,5 суток, что явилось подтверждением существования четырехсуточной циркуляции в верхней атмосфере Венеры (рис. 2.3.3).

Исследования Марса были возобновлены в 1946 г. работой Н. П. Барабашова по анализу большого массива визуальных наблюдений планеты (его собственных и выполненных ранее Е. Антониади). Изучались сезонные изменения различных марсианских образований и зависимость их яркости и цвета от высоты Солнца над горизонтом. В 1950 и 1952 г.г. Н. П. Барабашовым и А. Т. Чекирдой были продолжены фотографические наблюдения Марса со светофильтрами.

В противостояние Марса 1954 г. большую работу по абсолютной поверхностной фотометрии Марса выполнил И. К. Коваль. Фотографирование планеты проводилось на рефракторе Цейсса со специальной лунно-планетной камерой с мая по сентябрь. Калибровались снимки рассеянным солнечным излучением. Стандартизация производилась по внефокальным изображениям звезды α Boo, полученными с теми же экспозициями, что Марс. Использовались четыре светофильтра – синий, желтый, зеленый и красный. На микрофотометре МФ-2 измерялись распределения яркости в материковых областях Марса вдоль экватора интенсивности и вдоль радиусов планеты в ее южном полушарии под углами в 45° и 135° к этому экватору. Исследовалось 18 участков в морских областях и ряде точек в полярных шапках. Затем были построены кривые распределения яркости в «усредненном море» Марса. Была подтверждена близость распределения яркости материков Марса к закону Ламберта и установлено заметное отклонение от него для морских областей.

Обработка результатов наблюдений была проведена И. К. Ковалем по приближенным формулам В. В. Соболева, обобщенным для закона отражения света от поверхности планеты, предложенного Н. Н. Сытинской. Использовалась индикатриса рассеяния света земной атмосферой. Фактор гладкости q оказался близок к 1 для материка и равным 0,7 для морей. Изменения по спектру распределений яркости со временем связаны с вариациями оптической толщины атмосферы. Морские области оказалось возможным разбить на три группы, в зависимости от спектрального хода контраста по сравнению с материком и зависимости их цвета от полуденной высоты Солнца.

Естественно, что Марс оказался предметом тщательного изучения Н. П. Барабашовым и И. К. Ковалем в великое противостояние 1956 г. Наблюдения проводились с середины июня до конца ноября и включали визуальные наблюдения планеты на рефракторе Мерца, а также определение прозрачности земной атмосферы как по визуальным изображениям Марса, так и «долгим методом» по внефокальным изображениям звезд. Марс фотографировался на 27-см рефлекторе с увеличительной камерой и шестью светофильтрами, охватывавшими спектральный диапазон от 0,36 мкм до 0,81 мкм. После основной серии наблюдений в течение 30 – 40 минут вблизи кульминации Марса в течение еще 3 – 4 часов планета с интервалом в 20 минут фотографировалась в ультрафиолетовых и инфракрасных лучах с целью наблюдения отдельных деталей на поверхности Марса при разных условиях освещения Солнцем. Калибровка снимков делалась с помощью трубчатого фотометра с тщательным контролем условий проведения этой процедуры. Изображения Марса на разных пластинках связывались между собой путем фотографирования планеты на каждой пластинке в данную ночь и в следующую ночь наблюдений. Стандартизация

осуществлялась с помощью рассеивающего экрана, при этом особое внимание было уделено учету влияния рассеянного солнечного излучения. Для последующей обработки было отобрано из общего числа более чем 3000 изображений Марса около 900 изображений, полученных в 54 наблюдательных ночи. На каждом изображении измерялись на микрофотометре МФ-2 яркости в среднем по 50 точек на диске планеты, расположенных в различных образованиях, видимых на поверхности Марса.

Результаты измерений представлены в виде каталога значений яркостного фактора во всех измеренных точках. Для каждой даты и каждого фильтра указываются угол фазы и долгота центрального меридиана, а для каждой точки ее ареоцентрические координаты и значения углов падения и отражения света. Кроме того, для 42 дат были построены распределения яркости вдоль экватора интенсивности и центрального меридиана. Составлены были выборки значений яркостного фактора для светлых областей, наблюдавшихся на планете, для морей экваториальной зоны и для южной полярной шапки Марса. Анализ изменения яркости этой полярной шапки позволил предположить, что она имеет и поверхностную, и атмосферную составляющие. Определена была также кривая изменения широты границы южной полярной шапки в течение весенне-летнего сезона на Марсе. Получены кривые среднего спектрального хода отражательной способности материковых и морских областей Марса. Сделана оценка минимальных, средних и максимальных значений контраста «море – материк». По данным в красной и инфракрасной области спектра, полученным при максимальной прозрачности, определялись значения фактора гладкости. Они оказались около 0,9 – для материков и 0,6 для морей. Были определены также временные вариации альбедо морей Марса (рис. 2.3.4).

Фотографическая фотометрия Марса была продолжена Н. П. Барабашовым, И. К. Ковалем и А. Т. Чекирдой в 1958 году.

Обширный цикл исследований Марса был выполнен в его великое противостояние 1971 года и в последующие за ним противостояния 1973 и 1975 г.г. Программа наблюдений Марса в 1971 г., разработанная под руководством Н. П. Барабашова, предусматривала:

1) Фотоэлектрические измерения интегрального блеска Марса и яркости центра диска в интервале длин волн от 366 нм до 717 нм с пятью интерференционными фильтрами и фотоэлектрические привязки звезд сравнения к фотометрическому стандарту α Aug; период наблюдений: июнь – октябрь и декабрь.

2) Фотографирование Марса со стеклянными светофильтрами в области спектра с $\lambda_{эфф} = 366 - 625$ нм; период наблюдений: июнь – октябрь. Фотографические наблюдения Марса сопровождалось измерениями величины турбулентного дрожания земной атмосферы для оценки качества изображения планеты.

В связи со значительным отрицательным склонением Марса в 1971 г. наблюдения проводились на телескопе АЗТ-8 самой южной в СССР Гиссарской обсерватории Института астрофизики АН Таджикистана. Общее количество наблюдательных ночей фотоэлектрических наблюдений – 38 в июне – октябре и 3 в декабре, в период выхода на ареоцентрическую орбиту АМС «Марс-2 и -3». Влияние прозрачности атмосферы исключалось методом равных высот по звездам ϵ и ζ Car. Величина атмосферного дрожания находилась по измерениям потока от звезды, проходящей через ножевую диафрагму; среднеквадратичное значение σ лежало в пределах от 1,3" до 3,8" со средним значением 2,4". Фотоэлектрические измерения интегрального блеска Марса были продолжены на телескопе АЗТ-8 Чугуевской наблюдательной станции АО ХГУ в противостояния 1973 г. (40 наблюдательных ночей) и 1975 года (59 ночей). Наблюдения Марса были выполнены Д. Ф. Лупишко и Т. А. Лупишко, их обработка – Д. Ф. Лупишко и Т. А. Лупишко, а интерпретация – Ю. В. Александровым и Д. Ф. Лупишко.

При фотографических наблюдениях в каждом фильтре с различными экспозициями получались по 18 изображений планеты (1 или 2 пластинки за ночь). За 37 наблюдательных ночей с общим периодом в 4 месяца, т.е. за время трех полных оборотов Марса относительно земного наблюдателя, было получено более 2500 изображений планеты. В период наблюдений с середины июня до середины сентября прозрачность атмосферы Марса была достаточно высокой, во второй половине сентября видимость деталей на диске планеты начала ухудшаться, и к началу октября планету охватила глобальная пылевая буря, продолжавшаяся до начала января 1972 г. Однако наблюдались отдельные прояснения, через промежутки времени, примерно соответствующие времени жизни крупных аэрозоль в атмосфере Марса. Наблюдения 1973 г. охватили период средней прозрачности марсиан-

ской атмосферы и период развития глобальной пылевой бури, по всей вероятности, еще более мощной, чем в 1971 г. В 1975 г. наблюдалось затухание глобальной пылевой бури. Таким образом, в перигелийное (великое) противостояние Марса 1971 г. и в последующие близперигелийные противостояния 1973 и 1975 г.г. на Марсе имели место глобальные пылевые бури. На рис. 2.3.5 хорошо прослеживается влияние пылевой бури на фазовые зависимости блеска Марса в 1971 г.

После абсолютизации измерений интегрального блеска Марса было проведено исключение долготного эффекта в блеске планеты, достигавшего в красных лучах величины $0,15^m$ и четко коррелировавшего с количеством разноальбедных деталей на видимом полушарии Марса. Главным результатом интегральной фотометрии Марса явились характерные и достаточно значительные изменения интегрального блеска планеты во время пылевой бури по сравнению с периодом нормального состояния ее атмосферы – возрастание блеска планеты во время пылевой бури в зеленой и, особенно, в красной части спектра с его уменьшением в ультрафиолетовых лучах. Это объясняется, помимо невидимости низкоальбедных деталей, увеличением альбеда однократного рассеяния частицами пыли, поднятыми в атмосферу, по сравнению с его значением, когда они лежат на поверхности, и отсутствием в первом случае теневого эффекта. В ультрафиолете же отсутствует первая причина и возрастает поток отраженного излучения за счет увеличения вытянутости индикатрисы рассеяния света пылью в связи с ростом параметра Ми. Эти результаты были подтверждены нашими наблюдениями 1973 и 1975 г.г., а также данными КА «Маринер-9» в феврале 1972 г.

Затем была проведена обработка всех имевшихся результатов по интегральной фотометрии Марса. Кроме наших наблюдений 1971 – 1975 г.г. были использованы ряды фотоэлектрических наблюдений В. Ирвина и др. (1963 – 1967 г.г., $\lambda\lambda$ 313 – 1064 нм), Л. А. Бугаенко и др. (1967 г., $\lambda\lambda$ 335 – 619 нм), фотографических спектрофотометрических наблюдений Р. Вулли (1954 г., $\lambda\lambda$ 405 – 636 нм) и наблюдения, проведенные нашим аспирантом Н. Б. Ибрагимовым в 1960 – 1961 г.г. на телескопе АЗТ-7 Шемахинской астрофизической обсерватории АН Азербайджана со спектрографом АСП-9 в том же спектральном интервале, что и у Р. Вулли. Все эти данные были усреднены с соответствующими весами и интерполированы на значения длин волн от 350 нм до 1050 нм с шагом в 50 нм. Затем зависимости блеска Марса от угла фазы (в интервале от 3° до 45°) были аппроксимированы полиномами Чебышева (ранее проводилась лишь линейная их аппроксимация). Оказалось при этом, что эти фазовые зависимости описываются квадратичными параболой с возрастанием нелинейности в коротковолновую область спектра и лишь в ультрафиолете можно оценить и кубический их член. Найдены были также значения геометрического альбеда Марса.

Из полученных фотографических изображений Марса были отобраны 64 лучших по качеству изображения за 17 дат, равномерно распределенных по углу фазы. Отобранные изображения были профотометрированы на микрофотометре МФ-4 ГАО АН Украины, модифицированном выпускником нашей кафедры В. Г. Парусимовым для измерений непосредственно в интенсивностях. При измерениях размер диафрагмы несколько превышал величину разрешения так, что разные изображения приводились к примерно одинаковому разрешению в $1''$. На изображении снималось от 300 до 900 отсчетов в зависимости от углового размера планеты (от $15''$ до $25''$). По результатам измерений были построены системы изофот на диске Марса (см., например, рис. 2.3.6). Стандартизация полученных изофот проводилась путем сопоставления фотоэлектрических измерений интегрального блеска Марса с его относительными оценками, найденными численным интегрированием распределения яркости на изображениях планеты, и контролировалась сравнением с фотоэлектрическими измерениями яркости центра диска Марса. Проведенная оценка точности абсолютной поверхностной фотометрии Марса составила для центральной части диска планеты 3 – 5%.

Н. Б. Ибрагимовым была сделана оценка оптических параметров атмосферы Марса в коротковолновой части спектра по его наблюдениям для модели полубесконечной атмосферы с индикатрисой рассеяния, полученной с помощью приближенных формул В. В. Соболева. Получены были значения вероятности выживания кванта ω , равные 0,55 для $\lambda = 405$ нм, 0,60 для $\lambda = 455$ нм, и значения параметра вытянутости индикатрисы рассеяния x_1 , равные 1,45.

При интерпретации наблюдений Марса 1971 года была поставлена задача определения свойств частиц, образующих явление пылевых бурь на Марсе. Рассмат-

ривалось два случая – «малые частицы» (≈ 1 мкм) и «большие частицы» (≈ 10 мкм). Отсутствие контрастов на диске планеты позволяло при расчетах отраженного излучения полагать оптическую толщину атмосферы $\tau = \infty$. Индикатриса рассеяния света представлялась согласно Г. ван-де Хюлсту взвешенной суммой простейшей несферической индикатрисы и δ -функции. Веса находились по значениям параметров коэффициентов x_1 и x_2 индикатрис, рассчитанных К. С. Шифриным и И. Л. Зельмановичем для комплексного показателя преломления $m = 1,34 - 0,007i$, дающего ожидаемые значения вероятности выживания кванта ($\omega \approx 0,9$). Расчеты проводились по приближенным формулам Э. Г. Яновицкого. Для указанных выше двух случаев спектральные значения вероятности выживания кванта оказались лежащими в пределах 0,60 – 0,95 и 0,87 – 0,99 соответственно с ростом в длинноволновую сторону спектра. Сопоставление этих результатов с возможными значениями величины выживания кванта для частиц силикатной природы (в соответствии с данными КА «Маринер-9») привело к оценке характерного размера частиц в активной фазе пылевых бурь на Марсе в 10 мкм, что согласуется с результатами А. Дольфюса и А. В. Мороженко, полученными по поляриметрическим данным. Затем был проведен расчет спектральных значений освещенности на поверхности Марса для случаев «малых частиц» (стадия затухания пылевой бури) и «больших частиц» (максимальное развитие бури) для различных значений оптической толщины от 1 до 50. Сопоставление соответствующих величин энергии, поглощенной пылевым слоем, с данными о разности температур на его верхней границе и у поверхности планеты, полученные КА «Марс-5», позволило оценить оптическую толщину атмосферы Марса в период пылевой бури 1971 г., равную примерно 40. Это дает концентрацию частиц у поверхности ≈ 10 см⁻³, толщину слоя осевшей пыли ≈ 1 мм и общую массу пыли, поднятой в атмосферу Марса, $\approx 10^{17}$ грамм.

В 1970-х годах был выполнен ряд прикладных работ по построению фотометрической модели атмосферы и поверхности Марса и выполнению на этой основе светотехнических расчетов, необходимых для работы систем астроориентации АМС на подлетном участке их траектории, а также работы по анализу условий работы научной аппаратуры на поверхности Марса (Ю. В. Александров, М. Ф. Ходячих, В. П. Куличкин, В. М. Литвинов).

В 1951 – 1954 г.г. большая работа по абсолютной фотографической фотометрии Юпитера и Сатурна была выполнена В. Н. Лебединцом. Ей предшествовал критический обзор ранее выполненных в этом направлении работ с анализом возможных источников помех. В ходе выполнения работы В. Н. Лебединцом был проведен учет погрешностей, вносимых в результаты наблюдений телескопом по методу искусственной планеты. В течение трех противостояний Юпитера было получено на рефракторе Цейсса около 250 пластинок с несколькими тысячами изображений Юпитера в четырех длинах волн. Масштаб изображений определялся по двойным звездам. Калибровка проводилась с помощью трубчатого фотометра, измерялись снимки на микрофотометре МФ-2. Абсолютизация наблюдений 1953 и 1954 г.г. осуществлялась двумя методами – сравнением с яркостью рассеивающего экрана и методом внефокальных изображений звезд. В. Н. Лебединец произвел также переобработку фотографических наблюдений Юпитера 1933 – 1938 г.г. Всего было получено 75 распределений яркости по диску Юпитера вдоль центрального меридиана и вдоль зон и полюсов планеты (от пяти до двух). Был найден исправленный за потемнение к краю контраст зон и полос по отношению к самой светлой зоне. Анализ полученных результатов выявил различие в состоянии атмосферы Юпитера в 1933 и 1938 годах и в 1953 – 1954 г.г. В первом случае потемнение к краю значительно уменьшается с уменьшением длины волны, во втором это уменьшение значительно меньше. В первый период распределения яркости подвержены значительным изменениям, во второй они были более стабильны. Для Сатурна были получены в каждом фильтре в 1953 – 1954 г.г. распределения яркости вдоль экватора интенсивности. Кроме того были найдены отношения яркостей кольца В к яркости центра диска планеты для 12 дат в 1953 г. и 8 дат в 1954 г. В заключение В. Н. Лебединец делает вывод о малой оптической толщине надоблачной газовой атмосферы на Юпитере в 1953 – 1954 г.г. и о значительно большем ее значении в 1933 и 1938 годах.

Изучение фотометрических свойств Юпитера было продолжено в 1960 – 1965 г.г. Ю. В. Александровым по результатам относительной фотографической фотометрии этой планеты. Им были профотометрированы и прокалиброваны наилучшие по качеству изображения Юпитера из большой серии снимков планеты в четырех светофильтрах, полученные

в 1951 – 1955 г.г. А. Т. Чекирдой, а также использованы распределения яркости по диску Юпитера, найденные В. Н. Лебединцом. Всего было построено 350 кривых распределения яркости вдоль трех светлых зон и двух темных полос, а также вдоль центрального меридиана Юпитера по 190 изображениям на 91 пластинке (отобранных из более чем 500 пластинок с более чем 5000 изображениями планеты). Прежде всего, была сделана оценка возможного влияния на полученные результаты турбулентного замытия земной атмосферой, и было показано, что для значений от центра планеты 0,85 радиуса диска это влияние не существенно. Затем был проведен спектральный анализ полученных распределений яркости с помощью полиномов Чебышева и установлено, что с достаточной надежностью определяются только линейный и квадратичный коэффициенты полиномов, описывающих эти распределения. Последующий дисперсионный анализ этих коэффициентов по фильтрам и периодам наблюдений не выявил значимых различий во времени, а по спектру от остальных отличаются только распределения яркости в синем фильтре.

Для интерпретации этих результатов наблюдений была предложена двухпараметрическая оптическая модель атмосферы Юпитера – полубесконечная слабо поглощающая атмосфера с трехчленной индикатрисой рассеяния вида $x(\gamma) = 1 + x_1 \cos \gamma + (0.5 + 0.25x_1)P_2(\gamma)$, где $P_2(\gamma)$ – второй полином Лежандра. Для этой модели были рассчитаны распределения яркости по диску планеты по приближенным формулам, основанным на точном решении задачи Чандрасекара и Горака. В результате были найдены следующие оценки оптических параметров атмосферы Юпитера: вероятности выживания кванта ω и коэффициента x_1 для светлых зон – $\omega = 0,982 \div 0,990$, $x_1 = 1,3 \div 1,5$ и для темных полос – $\omega = 0,974 \div 0,984$, $x_1 = 1,2 \div 1,5$. Для согласования этой модели с распределением яркости в синем фильтре пришлось ввести предположение о наличии надоблачного газового слоя с оптической толщиной $\tau = 0,1 \div 0,2$. Сделана была оценка среднего размера аэрозолей в атмосфере Юпитера ($\bar{a} = 0,1 \pm 0,15$ мкм при дисперсии $\sigma^2 = 0,5$). Были на этой основе рассчитаны сферическое и геометрическое альбедо Юпитера и его фазовая кривая блеска.

Серия интегральных и поверхностных спектрофотометрических наблюдений Юпитера была выполнена в 1965 – 1967 г.г. М. Ф. Ходячих на телескопе АЗТ-7 со спектрографом АСП-9 с одновременным определением коэффициента прозрачности атмосферы «долгим методом». Щель спектрографа ориентировалась вдоль оси вращения планеты. Стандартизация спектрограмм проводилась сравнением с яркостью фотосферы Солнца в 1965 г. и методом внефокальных изображений звезд в 1966 г. Всего было получено 250 спектрограмм. В 1967 г. проводилась относительная поверхностная спектрофотометрия Юпитера. В 1966 г. одновременно с поверхностной были выполнены и интегральные спектрофотометрические наблюдения планеты. Результаты этих наблюдений были исправлены за эффекты, связанные с различием экспозиций при наблюдениях Юпитера и звезд сравнения, и были найдены значения геометрического альбедо Юпитера в интервале длин волн $\lambda\lambda$ 400 – 640 нм. Они оказались согласующимися со значениями геометрического альбедо, определенными из монохроматических распределений яркости по диску Юпитера. В 1969 г. были выполнены фотоэлектрические определения яркости центра диска Юпитера с тремя стеклянными светофильтрами со стандартизацией по звездам, привязанным непосредственно к центру солнечного диска.

Интерпретация результатов этих наблюдений проводилась М. Ф. Ходячих в рамках модели оптически полубесконечной атмосферы с трехчленной индикатрисой рассеяния света, приведенной выше. Найденные значения альбедо однократного рассеяния ($\omega = 0,994 - 0,997$) были сопоставлены с результатами Ю. В. Александрова и В. В. Аврамчука. Было показано, что расхождение между этими тремя оценками альбедо однократного рассеяния частиц в облачном слое Юпитера в его экваториальной зоне может быть устранено учетом влияния надоблачной дымки с оптической толщиной газовой составляющей 0,07 (при 630 нм) и аэрозольной составляющей – 0,20. Средний радиус частиц в дымке 0,7 мкм, а количество частиц в ее вертикальном столбе 10^7 см⁻². При этом различие в спектральном ходе альбедо Юпитера (большая селективность по спектру в 1966 г. по сравнению с 1965 г.) может быть объяснено изменением среднего размера частиц надоблачной дымки.

М. Ф. Ходячих обратил также внимание на то, что энергетическое соотношение между приливным воздействием на планету со стороны ее спутников и ее инсоляцией возрастает с удалением планеты от Солнца. Он рассчитал величины приливных ускорений от Ио на поверхности Юпитера в зависимости от угла, образуемого направлениями на Ио и на Землю. Эти значения были сопоставлены с поведением оптических характеристик

центральной части диска Юпитера – изменением контрастов между зонами и полосами по наблюдениям М. Ф. Ходячих и временным ходом эквивалентной ширины полосы метана при $\lambda = 619$ нм по наблюдениям В. Г. Тейфеля и Н. В. Прибоевой в 1960 – 1961 г.г. и В. В. Аврамчука в 1963 – 1966 г.г. Обнаружена была корреляция между этими данными. Вблизи соединений Ио с Юпитером эквивалентные ширины и коэффициенты яркости центра диска планеты принимают минимальные значения. Позже М. Ф. Ходячих провел аналогичное исследование, сопоставив эквивалентные ширины той же полосы метана на Сатурне (по данным В. В. Аврамчука для 1968 – 1969 годов) с приливным ускорением от Титана, и также нашел хорошую корреляцию (в отдельные даты коэффициент корреляции составлял $0,76 \pm 0,21$).

Цикл спектрофотометрических исследований колец Сатурна выполнил А. М. Грецкий. В 1966 г. фотографические наблюдения проводились при минимальном раскрытии колец в течение 22 ночей в августе – ноябре с помощью спектрографа АСП-9 (дисперсия 143 ангстрема при H_γ) на телескопе АЗТ-8 АФИ Казахской ССР. Было получено по 66 спектрограмм Сатурна и звезды сравнения α Aql. Затем была определена отражательная способность экваториальной зоны Сатурна вместе с кольцом и найдены спектрофотометрические градиенты для $\lambda\lambda$ 410 – 450 мкм и $\lambda\lambda$ 460 – 600 мкм. В период 1970 – 1972 г.г. Сатурн наблюдался на телескопе АЗТ-8 АО ХГУ со спектрографом АСП-21 (дисперсия 30 ангстрем/мм). В течение 40 ночей было получено 140 спектрограмм. Полученные спектрограммы фотометрировались вдоль и поперек направления дисперсии на микрофотометре МФ-2 с выводом на цифропечать. Фотометрические разрезы получены в 18 длинах волн от 4016 ангстрем до 6375 ангстрем с построением характеристической кривой для каждого из более чем тысячи разрезов. По спектрограммам с лучшим пространственным разрешением было проведено детальное сравнение отражательной способности центра диска Сатурна и колец А и В, а также их западной и восточной ветвей. Для контроля поведения яркости в центре диска Сатурна проводились параллельные фотоэлектрические измерения центра диска планеты и звезды сравнения ϵ Tau с внутренней точностью определения яркостного фактора центра диска в 2%. Впервые были получены монохроматические фазовые кривые кольца В. Совместно с В. Н. Дудиновым была проведена численная линейная фильтрация с целью уменьшения влияния на результаты измерений турбулентного замытия земной атмосферой. При этом оказалось, что систематическая ошибка, уменьшающая яркость кольца В, может достигать 20%.

Основные результаты анализа полученного наблюдательного материала оказались следующими. Была выявлена зависимость опозиционного эффекта от длины волны. Обнаружена депрессия на фазовых кривых вблизи значения угла фазы 4° (рис. 2.3.7). Впервые эта депрессия была отмечена Э. Шенбергом, в работе же А. М. Грецкого ее существование было надежно установлено и изучено ее поведение по спектру. Им же это явление было интерпретировано как проявление радуги, обусловленной наличием в веществе колец Сатурна в количестве до 2% крупных сферических частиц с показателем преломления, равным 1,8. Поскольку наличие в кольцах частиц со столь высоким коэффициентом преломления весьма проблематично, описанный эффект можно отнести к необъясненному. Было также обнаружено существенное различие фотометрических свойств колец при малых и больших их раскрытиях, что позволило предположить наличие мелкодисперсной и газовой составляющих в образующем их веществе.

В последнюю четверть века планетные исследования были сосредоточены в двух направлениях. Первое – это поляриметрия Юпитера, точнее говоря, изучение асимметрии в степени поляризации света, отраженного северной и южной полярными областями Юпитера. Второе направление – изучение свойств поверхностей Венеры и Марса по данным космических экспериментов. Об этих работах рассказано в последующих очерках.

За 90 лет планетных исследований в Харьковском университете пройден большой путь. Усложнялись задачи этих исследований, совершенствовались их техника и методика, модифицировалась интерпретационная база. Развитие планетной тематики отражено в более чем 300 публикациях. По этой тематике подготовлено и защищено 16 диссертаций, опубликовано 6 монографий. Кроме труда В. Г. Фесенкова о Юпитере, это книга Н. П. Барабашова «Результаты фотометрических исследований Луны и планет на АО ХГУ» (1957 г.), в которой подведены итоги работы по изучению планет за первые сорок лет. Обобщение результатов наших исследований планет за последующие 10 лет сделано в книге Н. П. Барабашова «Об опыте фотометрирования планет» (1966 г.). Результатам изучения

Марса посвящены монографии Н. П. Барабашова и И. К. Коваля «Фотографическая фотометрия Марса со светофильтрами во время великого противостояния Марса в 1956 году» (1959 г.) и Ю. В. Александрова, Д. Ф. Лупишко и Т. А. Лупишко «Абсолютная фотометрия Марса в 1971, 1973 и 1975 г.г.» (1977 г.). В 1950 – 1960 годах особо важную роль в развитии работ по изучению планет и в подготовке новых кадров исследователей сыграла книга Н. П. Барабашова «Исследование физических условий на Луне и планетах» (1952 г.).

Стремление к максимально полному учету различных факторов, влияющих на точность результатов наблюдений планет, присущее харьковской школе планетоведения, обусловило высокую степень доверия к этим результатам со стороны астрономического сообщества. Во второй половине XX века с увеличением диаметров используемых телескопов на первое место среди таких факторов выдвинулось замыкающее влияние турбулентной земной атмосферы. Это вызвало к жизни развитие в нашей обсерватории нового научного направления по изучению проблемы видения сквозь турбулентную среду и повышения углового разрешения наземных телескопов (см. статью В. Н. Дудинова и др.). Увеличение объема и повышение качества наблюдательного материала (особенно данных о Марсе) стимулировало работы по изучению рассеяния света несферическими частицами и другим задачам оптики планетных атмосфер (Е. С. Зубко, Д. В. Петров, В. П. Тишковец, Ю. Г. Шкуратов).

В целом, исследования по планетной проблематике в Харьковском университете были сосредоточены на изучении фотометрических и поляриметрических характеристик планет и определении на этой основе их физических и других свойств. Не изучались, например, такие характеристики планет, как их гравитационные и магнитные поля, внутреннее строение планет. Стремление охватить в более или менее сбалансированном виде все многообразные аспекты планетоведения, все богатство физических свойств планет привело к созданию учебного пособия Ю. В. Александрова «Введение в физику планет» (1982 г.). В 1997 г. вышло второе дополненное его издание на украинском языке «Фізика планет». В 2000 г. было опубликовано учебное пособие Н. Н. Евсюкова и Ю. В. Александрова «Хімія і геологія планет».

До Великой Отечественной войны планетные исследования развивались в основном лишь в Ленинграде и Харькове. Послевоенное время и приближение эпохи освоения космоса потребовали более широкого развертывания этих исследований в нашей стране. С этой целью и по инициативе Н. П. Барабашова была создана Комиссия по физике планет Астрономического совета АН СССР. В 1949 г. в Харькове состоялся ее первый (организационный) пленум. Н. П. Барабашов был избран председателем комиссии и возглавлял ее в течение 17 лет. Комиссия издавала свои «Известия», где публиковались результаты планетных исследований. В 1950-х – первой половине 1960-х годов в Харькове регулярно раз в два года проводились пленумы этой комиссии. Дискуссии, подчас весьма острые, между мэтрами планетной астрономии тех лет Н. П. Барабашовым, В. В. Шароновым, А. В. Марковым, А. В. Хабаковым и другими сыграли большую роль в воспитании тогдашних студентов и аспирантов нашей кафедры астрономии (ныне уже образующих старшее поколение харьковских астрономов).

Подводя итоги планетных исследований в Харьковском университете, нужно вспомнить и имена людей – инженеров и лаборантов, обеспечивавших техническую, вычислительную сторону этих работ как в домашнее время, так и в эпоху ЭВМ. Это Е. М. Бороденко, Л. И. Ефимова, Л. Ф. Капанина, М. И. Капинус, В. И. Лацько, Н. Г. Литкевич, Т. А. Лупишко, В. А. Макаренко, В. П. Ярko. Нужно вспомнить и имена механиков обсерватории разных лет – А. С. Салыгина, Л. И. Касселя, Л. В. Павленко, В. Л. Павленко.

В 1948 г. была создана в Киеве Главная астрономическая обсерватория АН Украины. В начале 1960-х годов стало необходимым развернуть и в ней исследования планет. Возглавил отдел физики планет ГАО АН Украины И. К. Коваль – ученик Н. П. Барабашова. Позже в Киеве в этом отделе в разные годы начали работать выпускники кафедры астрономии ХГУ – Л. А. и О. И. Бугаенко, Э. Г. Яновицкий, В. Г. Парусимов, В. В. Кругов, В. А. Кучеров, А. Н. Довгопол. Профессор Э. Г. Яновицкий широко известен своими исследованиями по проблеме переноса излучения в неоднородных планетных атмосферах. Многолетний опыт украинской планетной школы, основание которой было положено в Харьковском университете, обобщен в фундаментальной монографии профессора А. В. Мороженко «Методи та результати вивчення фізичних характеристик хмарових шарів в планетних атмосферах».

Ученики Н. П. Барабашова и ученики его учеников работали и работают в различных

центрах планетных исследований в СССР, а теперь СНГ. В Астрофизическом институте АН Казахстана – С. М. Гайсин, К. С. Куратов, Л. П. Жмуркова, Е. Я. Гидалевич, в Астрономическом институте АН Узбекистана – В. С. Шевченко, в Шемахинской астрофизической обсерватории – Н. Б. Ибрагимов, Л. А. Голубева, Д. И. Шестопалов.

Таким образом, есть все основания утверждать, что планетные исследования в Харьковском университете – это весьма весомый вклад в развитие физики планет в Советском Союзе и в Украине.